



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 196 10 941 A 1

⑤① Int. Cl.⁸:
G 01 C 9/20
G 01 D 5/30

⑳ Aktenzeichen: 196 10 941.8
㉑ Anmeldetag: 20. 3. 96
㉒ Offenlegungstag: 25. 9. 97

DE 196 10 941 A 1

㉓ Anmelder:
Carl Zeiss Jena GmbH, 07745 Jena, DE

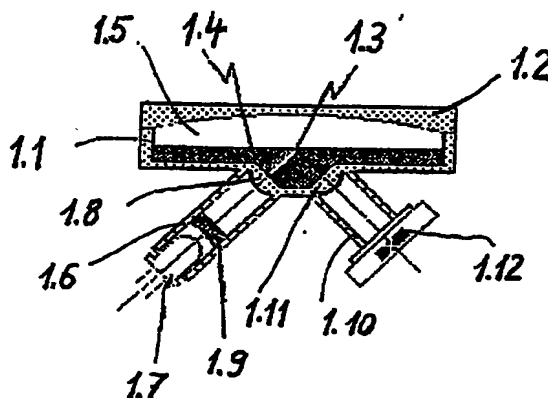
㉔ Erfinder:
Glimm, Andreas, Dipl.-Phys., 99425 Weimar, DE;
Gürtler, Klaus, Dipl.-Ing., 07747 Jena, DE;
Junghanns, Klaus, Dipl.-Ing., 07745 Jena, DE

㉕ Entgegenhaltungen:
DE 32 35 492 A1
GB 15 36 022
US 53 92 112

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉖ Zweiachsiger Neigungsmesser

㉗ Die Erfindung betrifft einen zweiachsigen Neigungsmesser zur Messung der Neigung von Geräten, Maschinen und Werkstücken, welcher ein Gehäuse 1.1; 2.1; 3.6 mit einer transparenten Flüssigkeit 1.4; 2.2; 3.7 umfaßt, die geeignet ist, die Richtung eines durchlaufenden optischen Strahlenbündels durch Reflexion oder Refraktion neigungsabhängig zu ändern. Es sind eine Lichtquelle 1.7; 2.5; 3.1 zur Beleuchtung einer auf einem Träger angeordneten Struktur 1.9; 2.6; 3.2 mit mindestens einem Hell-Dunkel- und mindestens einem Dunkel-Hell-Übergang und optische Elemente 1.11; 2.8; 3.4 in Form von Linsen zur Abbildung der Struktur 1.9; 2.6; 3.2 durch die Flüssigkeit 1.4; 2.2; 3.7 hindurch auf in Zeilen und Spalten angeordnete fotoelektrische Sensorelemente 5.1 einer Sensoranordnung 1.12; 2.9; 3.5 vorgesehen. Die Struktur 1.9; 2.6; 3.2 ist im Bezug auf die Zeilen und Spalten der Sensoranordnung 1.12; 2.9; 3.5 so auf dem Träger angeordnet, daß der durch die Abbildung der Struktur 1.9; 2.6; 3.2 auf der Sensoranordnung 1.12; 2.9; 3.5 erzeugte mindestens eine Hell-Dunkel- und Dunkel-Hell-Übergang auf mehr als einem Sensorelement liegt, wobei diese Sensorelemente auf unterschiedlichen Zeilen und/oder Spalten der Sensoranordnung 1.12; 2.9; 3.5 liegen.



DE 196 10 941 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf einen zweiachsigen Neigungsmesser gemäß dem Oberbegriff des ersten Anspruchs zur Messung der Neigung von Geräten, Maschinen und Werkstücken in zwei senkrecht zueinander stehenden Richtungen.

Neben Neigungsmessern mit Pendeln und Libellen sind Geräte bekannt, die ein oder mehrere Flüssigkeitsgefäße umfassen, in denen sich eine Flüssigkeit und ein Gas oder mindestens zwei nicht mischbare Flüssigkeiten mit unterschiedlichen optischen oder elektrischen Eigenschaften befinden.

Aus den Druckschriften DE 36 34 244 A1; DE 41 10 858; US 5 392 112 und JP 58-99 712 sind zweiachsige Neigungsmesser mit einem neigungsempfindlichen und strahlenablenkenden Sensor beschrieben, durch den eine geometrische Figur mit mindestens einem Winkel auf ein Lineararray von CCD-Elementen abgebildet wird. Die Abbildung der Figur erfolgt durch Abbildungsoptiken entweder durch den Flüssigkeitshorizont (Grenzfläche Flüssigkeit/Gas oder Flüssigkeit/Flüssigkeit) hindurch oder nach Reflexion am Flüssigkeitshorizont auf das Lineararray. Durch eine besondere Ausbildung bzw. Anordnung der geometrischen Figur können mit derartigen Neigungsmessern Neigungen in x- und y-Richtung sowie sich überlagernde Neigungen gemessen werden. Bei einer Neigung des Gerätes erfolgt eine Richtungsänderung des Beleuchtungsstrahlenbündels aus einer Normallage entweder durch Brechung am relativ zum Strahlenverlauf geneigten Flüssigkeitshorizont, wobei die Flüssigkeit sich wie ein optischer Keil verhält, oder durch veränderte Reflexionsbedingungen am Flüssigkeitshorizont, in dem sich der Einfallswinkel des Beleuchtungsstrahlenbündels und der Reflexionswinkel des am Flüssigkeitshorizont reflektierten Strahlenbündels ändern. Aus der veränderten Position der abgebildeten Figur auf dem Lineararray wird die Neigung in zwei Koordinatenrichtungen ermittelt.

Aus der US 5 392 112 ist es ferner bekannt, zur Ermittlung der Neigungswinkel in zwei Dimensionen einen flächenhaften CCD-Sensor einzusetzen.

Diese bekannten Neigungsmesser nutzen als Sensoren zur Bestimmung der Lage des Lichtschwerpunktes positionsempfindliche Flächen- oder Streifensensoren oder zur Auswertung einer Helligkeitsstruktur CCD-Zeilensensoren. Um eine hohe Auflösung zu erzielen, sind aufgrund der eingeschränkten Linearität der Differenz- und Streifensensoren sowie des beschränkten erzielbaren Informationsgehaltes auf linearen Zeilensensoren (Begrenzung den minimalen Strukturbreite durch Abbildungsfehler, Bildfeldgröße und Pixellänge) längere Brennweiten des optischen Systems und damit größere Ausmaße der Meßeinrichtung sowie ein eingeschränkter oder eingeschränkt hochauflösender Meßbereich erforderlich. Besonders stark wirkt dieser Effekt bei Neigungsmessern nach dem Prinzip der Lichtbrechung beim Durchtritt der Gas-Flüssigkeits-Grenzschicht, da die Ablenkung des Lichtstrahls bei Neigungsänderung nur ein Bruchteil der Ablenkung bei Reflexion ausmacht.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen zweiachsigen Neigungsmesser zu schaffen, der konstruktiv einfach aufgebaut ist, eine hohe mechanische Stabilität besitzt und weitgehend temperaturunabhängig eine hochgenaue Neigungsmessung im Sekunden- und Subsekundenbereich ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei einem zweiachsigen Neigungsmesser mit den Mittel des kennzeichnenden Teils des ersten Anspruchs gelöst. In den weiteren Ansprüchen sind weitere Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Neigungsmessers beschrieben.

Durch die Abbildung der als eine flächig ausgedehnte Hell-Dunkel-Struktur mit mindestens einem Hell-Dunkel-Übergang und einem Dunkel-Hell-Übergang ausgebildeten Struktur auf die als CCD-Matrix mit in Zeilen und Spalten angeordneten Sensorelementen (Pixel) ausgebildete Sensoranordnung in der Weise, daß die Hell-Dunkel- und Dunkel-Hell-Übergänge des Bildes der Struktur auf der Sensoranordnung eine Vielzahl von Zeilen und Spalten längs zur Meßrichtung schneiden, stehen viele Sensorelemente der Sensoranordnung zur Erzeugung auswertbarer elektrischer Signale zur Verfügung. Bei voller Ausnutzung der CCD-Matrix steht maximal eine solche Anzahl Sensorelemente zur Verfügung, die der Anzahl der Sensorelemente einer Spalte oder Zeile entspricht. Aufgrund der bekannten Geometrie der abgebildeten Struktur wird nach ihr eine Ausgleichsrechnung durchgeführt. Bei dem erfindungsgemäßen Neigungsmesser ist es vorteilhaft, daß bereits mit einem Hell-Dunkel-Übergang auf der Sensoranordnung die Informationsmenge, die ein linearer Zeilensensor liefert, überboten wird und durch eine Vielzahl von Hell-Dunkel-Übergängen, wie sie durch Gitter sich kreuzender Linien erzeugbar sind, noch weiter gesteigert werden kann. Die Auflösung des Neigungsmessers wird durch die Ausnutzung der Signale vieler Sensorelemente wesentlich verbessert, so daß die abbildenden optischen Elemente eine kleinere Brennweite besitzen können und somit der Neigungsmesser in kleinerer Baugröße ausgeführt werden kann. Mit kleinerer Brennweite verkleinert sich auch die Sensoranordnung entsprechend.

Um die Signale möglichst vieler Sensorelemente zur Ermittlung der Neigung heranziehen zu können, ist es vorteilhaft, wenn die Struktur aus einem Gitter sich kreuzender Linien besteht und so auf dem Träger angeordnet ist, daß die auf die Sensoranordnung abgebildeten Linien mit den Zeilen und/oder Spalten einen Winkel bilden. Um einen hohen Interpolationsgrad zwischen zwei Zeilen oder Spalten zu erreichen, ist es günstig, einen solchen Winkel vorzusehen, dessen Tangens gleich dem reziproken Wert der Anzahl der Sensorelemente einer Zeile oder einer Spalte ist. Als einfache Struktur kann auch ein Strichkreuz sein, dessen Striche so zu den Zeilen oder Spalten ausgerichtet sind, daß die auf die Sensoranordnung durch Abbildung des Strichkreuzes entstehenden Hell-Dunkel- und Dunkel-Hell-Übergänge mit den Zeilen und/oder Spalten einen kleinen Winkel bilden.

Die abzubildende Struktur kann auch aus konzentrischen Kreisen, Ellipsen oder Vielecken bestehen. In diesen Fällen muß nur gewährleistet sein, daß diese Strukturen Linienbereiche besitzen, deren Bilder auf der Sensoranordnung einen Winkel mit den Zeilen und/oder Spalten bilden.

Um einen konstruktiv einfachen und technologisch leicht herstellbaren Neigungsmesser zu erhalten, ist es vorteilhaft, wenn das Gehäuse bzw. Gefäß und die abbildenden optischen Elemente ein einziges Bauteil aus optischem Kunststoff bilden. Bei aus undurchsichtigem Werkstoff hergestellten Gehäusen können die abbildenden Elemente in der Gehäusewand eingesetzt sein. Um den Neigungsmesser unter unterschiedlichen Bedingungen vielseitig einsetzen zu können, können die Struktur

und die Sensoranordnung auf ein und derselben Seite oder auch auf entgegengesetzten Seiten des Gehäuses angeordnet sein.

Desgleichen ist es vorteilhaft, wenn die Brennweiten der abbildenden optischen Elemente und Kollimatoren gleich sind.

Ein Verfahren zur Neigungsmessung mit einem Neigungsmesser gemäß dem ersten Anspruch umfaßt die folgenden Verfahrensschritte:

- Abbildung einer beleuchteten Struktur durch ein Strahlenbündel mittels optischer Elemente, wobei die Richtung des Strahlenbündels durch mindestens eine Reflexion an einem Flüssigkeitshorizont einer transparenten Flüssigkeit oder durch Refraktion in einer derartigen Flüssigkeit neigungsabhängig geändert wird, auf eine fotoelektrische Sensoranordnung mit in Zeilen und/oder Spalten angeordneten Sensorelementen (Pixeln) derart, daß die durch das Bild der Struktur auf der Sensoranordnung erzeugten Hell-Dunkel und/oder Dunkel-Hell-Übergänge quer zu mindestens einer Meßrichtung oder Koordinate verlaufen und Sensorelemente unterschiedlicher Zeilen und/oder Spalten überdecken,
- Erzeugung elektrischer Signale durch die überdeckten Sensorelemente,
- Durchführung einer Ausgleichsrechnung nach der in ihrer Geometrie bekannten Struktur unter Verwendung der durch die Sensorelemente erzeugten elektrischen Signale und
- Bestimmung der Neigung durch Ermittlung der neigungsbedingten Position oder Verschiebung des Bildes der Struktur auf der Sensoranordnung durch einen Rechner.

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. In der Zeichnung zeigen

Fig. 1 einen erfindungsgemäßen Neigungsmesser, bei dem die Struktur und die Sensoranordnung auf einer Seite des Gehäuses liegen,

Fig. 2 einen Neigungsmesser mit Mehrfachreflexion des Abbildungsstrahlenganges,

Fig. 3 einen Neigungsmesser, bei dem Struktur und Sensoranordnung auf entgegengesetzten Seiten des Gehäuses liegen,

Fig. 4a bis 4d verschiedene Ausführungen der abzubildenden Struktur,

Fig. 5 die Signalverhältnisse an der Sensoranordnung und

Fig. 6 die Lage des auf der Sensoranordnung abgebildeten Strichkreuzes mit Angabe des Koordinatensystems.

Der in Fig. 1 im Schnitt dargestellte zweiachsige Neigungsmesser umfaßt ein Gehäuse 1.1, welches durch einen Deckel 1.2 nach oben hin abgeschlossen ist und in welchem sich eine transparente, einen Flüssigkeitshorizont 1.3 gegen ein Gasvolumen 1.5 bildende Flüssigkeit 1.4, vorzugsweise Silikonöl, befindet.

Unterhalb des Gehäuses 1.1 ist in einem ersten Gehäuseteil 1.6 eine Lichtquelle 1.7 zur Beleuchtung einer in der Brennweite eines ebenfalls im Gehäuseteil 1.6 angeordneten Kollimators 1.8 liegenden Struktur 1.9 vorgesehen. Die Struktur 1.9 soll mindestens einen Hell-Dunkel- und mindestens einen Dunkel-Hell-Übergang besitzen, d. h. sie soll eine gewisse Ausdehnung aufweisen. Ein zweites, ebenfalls unterhalb des Gehäuses 1.1 angeordnetes Gehäuseteil 1.10 beinhaltet ein abbilden-

des optisches Element 1.11 zur Abbildung der Struktur 1.9 durch die Flüssigkeit 1.4 hindurch auf eine mit dem zweiten Gehäuseteil 1.10 verbundene, flächenhafte Sensoranordnung 1.12, welche in Zeilen und Spalten angeordnete, eine Matrix bildende, fotoelektrische Sensorelemente (Pixel) umfaßt. Als Sensorelemente sind insbesondere CCD-Elemente vorgesehen.

Wie aus den Fig. 4a bis 4d ersichtlich, kann die Struktur 1.9 ein Strichkreuz 4.1, ein Gitter 4.2 sich kreuzender Striche sein oder konzentrische Kreise 4.3, Ellipsen oder Vielecke 4.4 umfassen.

In Fig. 2 ist ein Neigungsmesser abgebildet, bei welchem im Gehäuse 2.1 zwei Flüssigkeiten 2.2 und 2.3 eingebracht sind, zwischen denen sich ein Flüssigkeitshorizont 2.4 befindet. Die beiden Flüssigkeiten 2.2 und 2.3 besitzen unterschiedliche Brechungsindizes und sind nicht mischbar, um eine Reflexion an einem zwischen den Flüssigkeiten ausgebildeten Flüssigkeitshorizont zu ermöglichen. Eine durch eine Lichtquelle 2.5 beleuchtete Struktur 2.6 wird über einen Kollimator 2.7 und ein optisches Element 2.8 auf eine Sensoranordnung 2.9, die mit einem Rechner 2.10 verbunden ist, abgebildet. Die Innenfläche 2.11 des Gehäusebodens 2.12 ist als Spiegelfläche ausgebildet, so daß eine mehrfache Reflexion des Strahlenganges an dem Flüssigkeitshorizont 2.4 realisiert und damit die Empfindlichkeit des Neigungsmessers gesteigert werden kann.

Bei dem in Fig. 3 dargestellten Neigungsmesser liegen die Lichtquelle 3.1, die Struktur 3.2 und der Kollimator 3.3 auf der einen und das abbildende optische Element 3.4 und die Sensoranordnung 3.5 auf der gegenüberliegenden Seite des Gehäuses 3.6, so daß das durch die Flüssigkeit 3.7 hindurchtretende Strahlenbündel bei Neigung des Gehäuses 3.6 im Bezug auf die horizontale Ebene durch den sich ausbildenden Flüssigkeitskeil abgelenkt und damit die Struktur 3.2 auf der Sensoranordnung 3.8 neigungsabhängig lageversetzt abgebildet wird.

Alle diese Neigungsmesser besitzen einen weitgehend symmetrischen Aufbau bezüglich ihrer mechanisch-optischen Komponenten. Durch die damit erreichte mechanische und optische Stabilität wird der Temperatureinfluß auf den Nullpunktfehler der Meßeinrichtung minimiert. Das Gehäuse 1.1; 2.1; 3.3, die optischen Elemente 1.11; 2.8; 3.4, die mechanischen Aufnahmen und Halterungen (nicht dargestellt) für die Struktur 1.9; 2.6; 3.2 und die Sensoranordnung 1.12; 2.9; 3.8 bilden vorteilhaft eine Einheit aus einem spritzgußfähigen optischen Kunststoff, zum Beispiel PMMA, wodurch sich auch eine kostengünstige Konstruktion und Montage verwirklichen lassen.

In Fig. 5 sind die Signalverhältnisse an der Sensoranordnung (Sensormatrix) 1.12; 2.9; 3.8 dargestellt. Im linken Teil dieser Figur ist eine Matrix in Zeilen und Spalten angeordneter Sensorelemente 5.1 dargestellt, wobei die Zeilen parallel zur x- und die Spalten parallel zur y-Koordinatenachse verlaufen. Das Bild 5.2 der Struktur 1.9; 2.6; 3.2 auf der Sensoranordnung 1.12; 2.9; 3.8 ist als helles Kreuz veranschaulicht. Die sich kreuzenden Striche des Kreuzes 5.2 bilden mit den Zeilen und Spalten einen Winkel α bzw. β . Fallen bei der Messung z. B. die zu messenden Neigungsrichtungen mit den Koordinatenachsen x und y zusammen, so bewegt sich der Kreuzungspunkt bei einer Neigung in x-Richtung entlang einer Zeile und bei einer Neigung in y-Richtung entlang einer Spalte. Aus den Koordinaten des Kreuzungspunktes wird die Neigung des Neigungsmessers in der x-y-Ebene durch den Rechner 2.10 bestimmt.

Bei optimaler Schräglage der Striche des Bildes 5.2 auf der Sensoranordnung 1.12; 2.9; 3.8 bezüglich der Zeilen und Spalten im Sinne einer höchstmöglichen Interpolation der Position zwischen zwei benachbarten Zeilen oder Spalten ergibt sich ein Schräglagewinkel der Striche des Bildes 5.2, dessen Tangens gleich $1/n$ ist, wobei n die Anzahl der Sensorelemente einer Zeile oder Spalte ist.

Im rechten Teil der Fig. 5 ist der Helligkeitsverlauf innerhalb einer Zeile oder Spalte je nach Neigungsrichtung über alle Sensorelemente (Pixel) dargestellt. Dabei wird im einfachsten Falle die Position des Lichtschwerpunktes p entsprechend einer Zeilennummer als Mittelwert der Spaltenelementennummer beim Überschreiten p_s bzw. beim Unterschreiten p_f einer analogen oder digitalen Schwellenlinie in 1/2-Pixelauflösung gewonnen. Dieser Vorgang kann in jeder Zeile mit Ausnahme der Zeilen, in denen sich der jeweils andere Kreuzungsstrich befindet, wiederholt werden. Bei beispielsweise einer Strichbreite von 10 Pixeldurchmessern oder -abständen würden bei insgesamt $n = 160$ Sensorelemente (Pixel) je Zeile oder Spalte 150 Zeilen oder Spalten für die Signalgewinnung zur Verfügung stehen. Unterzieht man alle auswertbaren Zeilen und zugehörigen Lichtschwerpunktnummern einer linearen Regression und wiederholt den ganzen Vorgang für die Lichtschwerpunkte innerhalb der auswertbaren Spalten, erhält man die Anstiege m_x und m_y und die konstanten Glieder n_x und n_y der beiden Ausgleichsgeraden des auf der Sensoranordnung abgebildeten Strichkreuzes (Fig. 6).

Der Kreuzungs- oder Schnittpunkt der beiden Ausgleichsgeraden besitzt die Koordinaten

$$u_x = (n_y - n_x) / (m_x - m_y) \text{ und} \\ u_y = (n_x \cdot m_y - n_y \cdot m_x) / (m_y - m_x),$$

wobei diese Koordinaten u_x und u_y der Neigung α in x-Richtung und der Neigung β in y-Richtung proportionale Größen sind und a und b nur noch mit Konstanten k_x und k_y multipliziert werden müssen, welche von der Brennweite f der abbildenden optischen Elemente, vom Abstand der Sensorelemente r und von einem strahlenablenkenden Faktor v_x und v_y für die Flüssigkeit abhängig sind. Es sind

$$k_x = r / (f \cdot v_x) \text{ und} \\ k_y = r / (f \cdot v_y).$$

Die Definition des horizontierten Zustandes des Neigungsmessers erscheint als additive Konstanten α_0 und β_0 , so daß sich die Neigungen bezüglich der Koordinaten x und y ergeben zu

$$\alpha = u_x \cdot k_x + \alpha_0 \text{ und} \\ \beta = u_y \cdot k_y + \beta_0.$$

Die Genauigkeit des Neigungsmessers und des Verfahrens soll an einem Zahlenbeispiel veranschaulicht werden. In den Neigungsrichtungen entlang der Koordinaten x und y sollen folgenden Werte angenommen werden:

$$v = 2f = 20 \text{ mm } r = 10 \text{ } \mu\text{m/Pixel} \\ \text{und damit } k = 0,00025 \text{ rad/Pixel entsprechend } 51,75''/\text{Pixel}.$$

Um beispielsweise α bzw. β auf ungefähr $1''$ genau zu bestimmen, müssen u_x und u_y auf ca. $1/50$ Pixelabstand

genau bestimmt werden. Mit der Informationsmenge von je 150 halbpixelgenauen Wertepaaren für die Ausgleichsgeraden ist diese Auflösung eindeutig gegeben. Die theoretische Grenze der Auflösung liegt bei optimaler Schräglage der Kreuzstriche zur Zeilen- bzw. Spaltenrichtung bei einem halben Pixel/150 = $1/300$ Pixel, was einer Neigungsauflösung von ca. $0,17''$ entspricht.

Patentansprüche

1. Zweiachsiger Neigungsmesser, umfassend

- ein Gehäuse oder Gefäß mit einer einen Flüssigkeitshorizont bildenden, transparenten Flüssigkeit, welche geeignet ist, die Richtung eines durchlaufenden optischen Strahlenbündels neigungsabhängig zu ändern,
- eine Lichtquelle zur Beleuchtung einer in der Brennebene eines Kollimators auf einem Träger angeordneten Struktur mit mindestens einem Hell-Dunkel-Übergang und mindestens einem Dunkel-Hell-Übergang, und
- optische Elemente in Form von Linsen zur Abbildung der Struktur durch die Flüssigkeit hindurch auf in Zeilen und Spalten angeordnete fotoelektrische Sensorelemente einer Sensoranordnung,

dadurch gekennzeichnet,

- daß die Struktur (1.9; 2.6; 3.2) im Bezug auf die Zeilen und Spalten der Sensoranordnung (1.12; 2.9; 3.5) so auf dem Träger angeordnet ist, daß der durch die Abbildung der Struktur (1.9; 2.6; 3.2) auf der Sensoranordnung (1.12; 2.9; 3.5) erzeugte mindestens eine Hell-Dunkel- und Dunkel-Hell-Übergang auf mehr als einem Sensorelement liegt, wobei diese Sensorelemente auf unterschiedlichen Zeilen und/oder Spalten der Sensoranordnung (1.12; 2.9; 3.5) liegen.

2. Neigungsmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Struktur (1.9; 2.6; 3.2) aus einem Gitter (4.2) sich kreuzender Linien besteht und so auf dem Träger angeordnet ist, daß die auf die Sensoranordnung (1.12; 2.9; 3.5) abgebildeten Linien mit den Zeilen und/oder Spalten einen Winkel bilden.

3. Neigungsmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Struktur als Strichkreuz (4.1) ausgebildet ist, dessen Striche so zu den Zeilen und/oder Spalten ausgerichtet sind, daß die auf die Sensoranordnung (1.12; 2.9; 3.5) abgebildeten Striche mit den Zeilen und/oder Spalten einen Winkel bilden.

4. Neigungsmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Struktur (1.9; 2.6; 3.2) aus konzentrisch angeordneten Kreisen (4.3), Ellipsen oder Vielecken (4.4) bestehen.

5. Neigungsmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse (1.1; 2.1; 3.6), das abbildende optische Element (1.11; 2.8; 3.4) und der Kollimator (1.8; 2.7; 3.3) ein einziges Bauteil aus optischem Kunststoff bilden.

6. Neigungsmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die abbildenden optischen Elemente (1.11; 2.8; 3.4) und die Kollimatoren (1.8; 2.7; 3.3) in die Wand des Gehäuses (1.1; 2.1; 3.6) eingesetzt sind.

7. Neigungsmesser nach Anspruch 5 und 6, dadurch

gekennzeichnet, daß die eine Fläche der optischen Elemente (1.11; 2.8; 3.4) und Kollimatoren (1.8; 2.7; 3.3) an die Flüssigkeit (1.4; 2.2; 3.7) grenzt.

8. Neigungsmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Struktur (1.9; 2.6) und die Sensoranordnung (1.12; 2.9) auf einer Seite des Gehäuses (1.1; 2.1) angeordnet sind. 5

9. Neigungsmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Struktur (3.2) und die Sensoranordnung (3.5) auf entgegengesetzten Seiten des Gehäuses (3.6) angeordnet sind. 10

10. Neigungsmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennweiten der abbildenden optischen Elemente (1.11; 2.8; 3.4) und der Kollimatoren (1.8; 2.7; 3.3) gleich sind. 15

11. Neigungsmesser nach Anspruch 1 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß das abbildende Strahlenbündel durch eine innerhalb oder außerhalb des Gefäßes mit diesem fest verbundene, reflektierende Fläche mindestens einmal umlenkbar ist und daß eine mehrfache Umlenkung des Strahlenbündels an dem Flüssigkeitshorizont realisiert ist. 20

12. Verfahren zur Neigungsmessung gekennzeichnet durch die Verfahrensschritte:

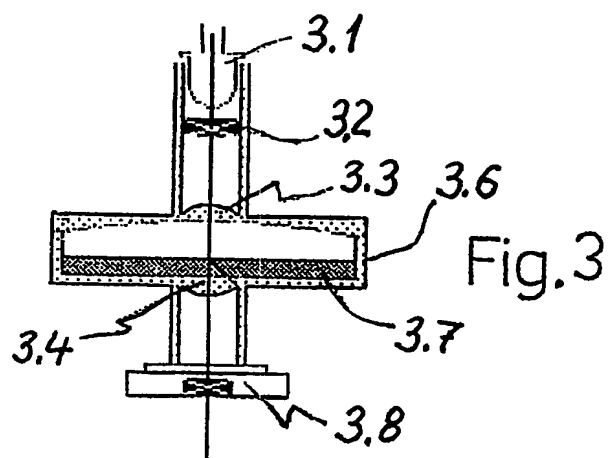
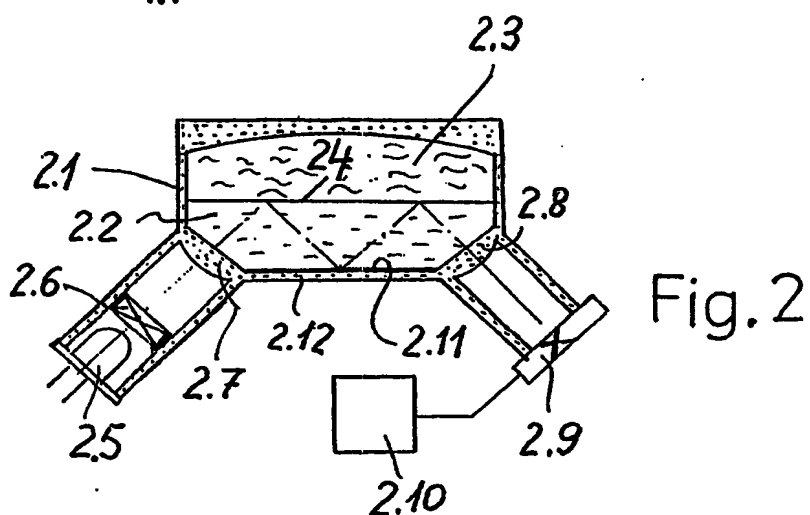
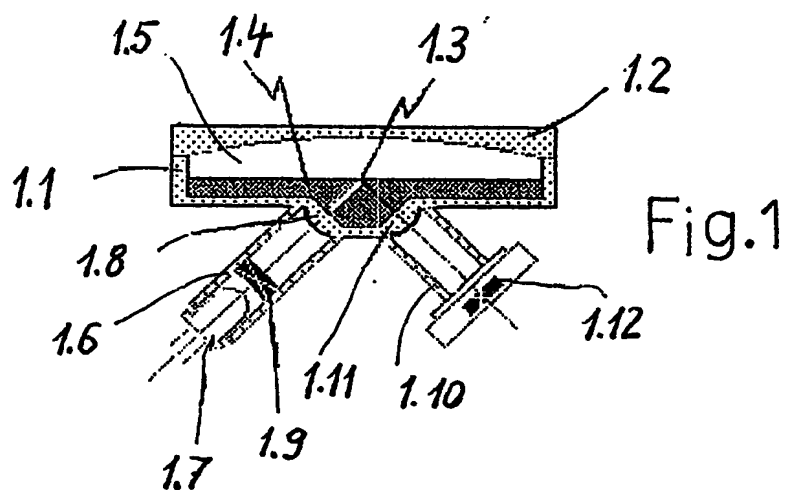
— Abbildung einer beleuchteten Struktur (1.9; 2.6; 3.2) durch ein Strahlenbündel mittels abbildender optischer Elemente (1.11; 2.8; 3.4) und Kollimatoren (1.8; 2.7; 3.3) wobei die Richtung des Strahlenbündels durch mindestens eine Reflexion an einem Flüssigkeitshorizont (1.3; 2.4) einer transparenten Flüssigkeit (1.4; 2.2) oder durch Refraktion in einer derartigen Flüssigkeit (3.7) neigungsabhängig geändert wird, auf eine fotoelektrische Sensoranordnung (1.12; 2.9; 3.8) mit in Zeilen und/oder Spalten angeordneten Sensorelementen derart, daß die durch das Bild der Struktur auf der Sensoranordnung (1.12; 2.9; 3.8) erzeugten Hell-Dunkel und/oder Dunkel-Hell-Übergänge quer zu mindestens einer Meßrichtung oder Koordinate (x; y) verlaufen und Sensorelemente unterschiedlicher Zeilen und/oder Spalten überdecken, 25 30 35 40

— Erzeugung elektrischer Signale durch die Überdeckten Sensorelemente, 45

— Durchführung einer Ausgleichsrechnung nach der in ihrer Geometrie bekannten Struktur (1.9; 2.6; 3.2) unter Verwendung der durch die Sensorelemente erzeugten elektrischen Signale und 50

— Bestimmung der Neigung durch Ermittlung der neigungsbedingten Position oder Verschiebung des Bildes der Struktur (1.9; 2.3; 3.2) auf der Sensoranordnung (1.12; 2.9; 3.8) durch einen Rechner (2.10). 55

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen



BEST AVAILABLE COPY

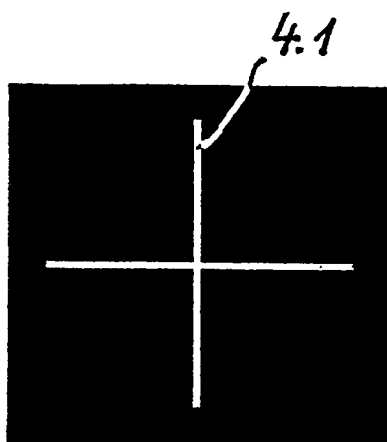


Fig. 4a

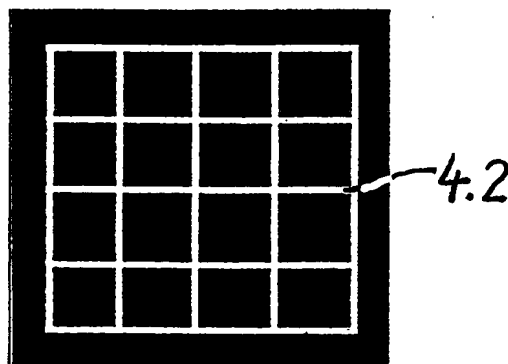


Fig. 4b

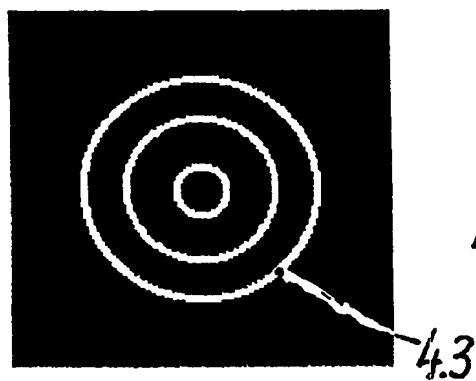


Fig. 4c

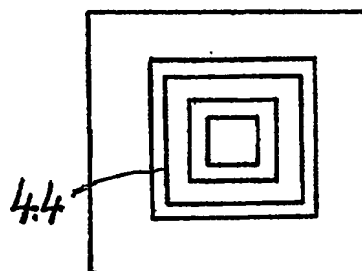


Fig. 4d

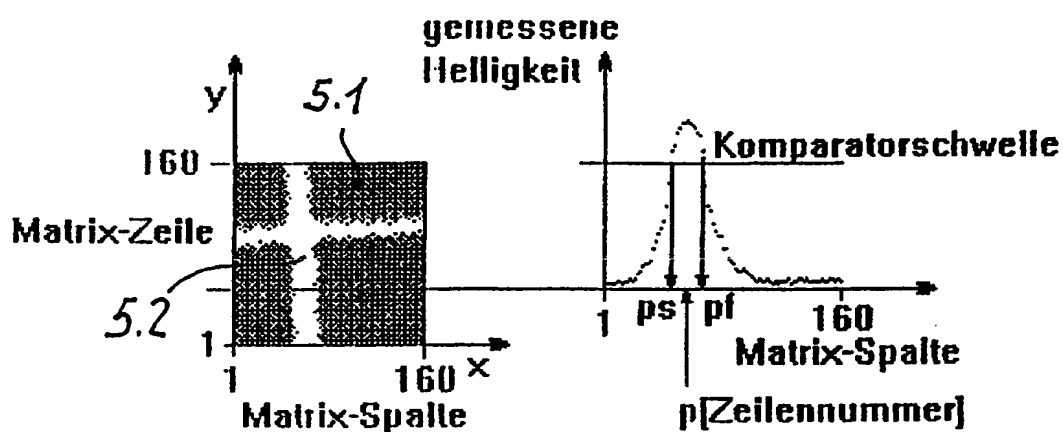


Fig.5

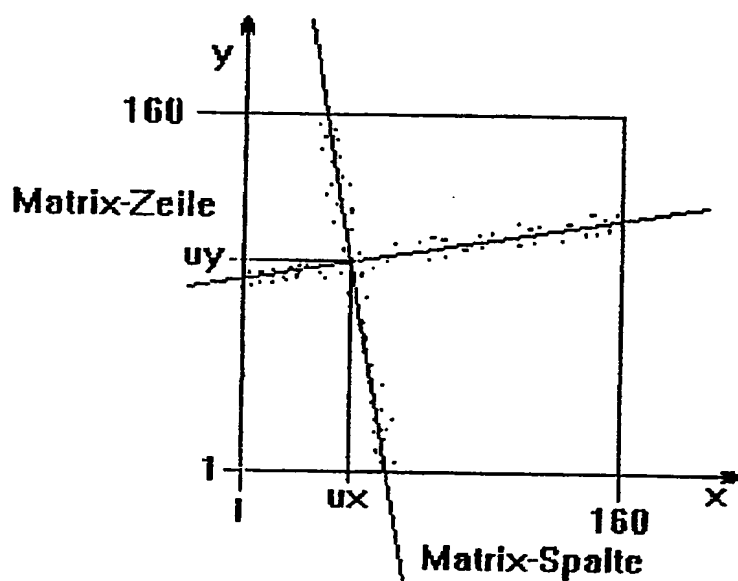


Fig.6